9. MMS による鉄道設備のモニタリング

Monitoring of railway structures by MMS

新名 恭仁*・桶谷 栄一*・横内 広高*
本間 亮平**・辻 求**・近藤 健一**

*Yasuhito NIINA, Eiichi OKETANI, Hirotaka YOKOUCHI
Ryohei HONMA, Kyu TSUJI and Kenichi KONDO*

Abstract : Recently, MMS (Mobile Mapping System) has been successfully used in a road maintenance. In this paper, we present the result of development of a basic technology to apply the data derived from MMS to the inspection and investigation of track and structures conducted in West Japan Railway Company. First, we obtained a point cloud around the track by MMS car for a road survey mounted on a bogie and checked acquired 3-D data of track and structures. Then, we developed an algorithm to extract rail track geometry from the point cloud and we analyzed the accuracy of extracting rail track geometry by applying this algorithm to the point cloud. Additionally we confirmed the accuracy of absolute position of the point cloud. Finally, we studied on how to apply a MMS point cloud to the inspection of railways, for example a clearance check.

1. はじめに

JR 西日本（以下、「当社」と称する）では、将来にわたって持続可能な鉄道システム構築を目指し、「鉄道オペレーションのシステムチェンジ」に取り組んでいる。そのなかで「地上検査の車上化」というメニューを設けており、これは当社で行っている様々な検査を装置化・車上化することにより、安全を担保しつつ省人化・省力化を目指そうとする試みである。

一方、道路分野ではレーザ計測技術のひとつである MMS (Mobile Mapping System) の利活用が進んでおり、MMS の計測データを用いた詳細な地図作成や道路の維持管理、設備の管理など、幅広く活用されている。

そこで本取り組みでは、当社における地上検査の車上化のひとつの手段として、MMS を鉄道へ適用するために、まず当社の基地や営業線で MMS の計測を行い、取得した点群を用いた基礎的な技術開発と検証を行った。さらに、鉄道での実業務に適用可能な点群解析機能の開発やその他の活用検討を行ったので、ここに報告する。

2. 計測試験

2.1. 手 法

本取り組みでは、道路用の MMS 車両を鉄道の台車に搭載し牽引することで、線路周辺の点群の取得を試みた(図1)。計測は当社の基地内および一部の営業線で行った。用いた MMS は 3D Laser Mapping 社製の StreetMapper であり、レーザスキャナは Riegl 社製の VQ-250 を 2 台搭載している。

2.2. 取得データ例

取得した点群の例を図2に示す。軌道のほか、駅構内やトンネル、橋梁、信号、標識、架線といった設備も明瞭に取得できており、土工等設備や電気設備など

図1 計測試験の状況（向日町基地内）（口絵カラー）

* 西日本旅客鉄道株式会社

**アジア航測株式会社

図2 計測試験で取得した点群例

の確認に用いることが期待できる。

3. 位置精度検証

現在、鉄道設備はキロ程と呼ばれる1次元的な位置管理を行っている。今後、MMSによる設備の絶対位置での管理可能性について検討するために、草津線の約9kmの区間において、RTK-GNSS測量により取得した12点の検証点を用い、点群の絶対位置精度を検証した。その様子を図3に、検証結果を表1示す。水平方向は1点だけ50cm以上の較差があったが、他の点はほぼ5cm以内に収まっていた。鉛直方向はプラス10cm程度の較差が多く、若干の偏りが見受けられた。較差が大きかった1点については、高架下での停車と

図3 検証点の例（左：点群、右：測量の様子）

表1 検証点による位置精度検証結果

水平方向 [m]				鉛直方向 [m]		
X 方向 平均	Y 方向 平均	水平 RMSE	水平 MAX	平均	RMSE	MAX
+0.08	-0.01	0.16	0.53	+0.13	0.14	0.27

低速度運転を行っていた区間であり、軌跡の測位計算がFloat解の箇所であった。

4. 自動レール位置抽出

4.1. レール位置抽出の必要性

例えば、MMSを後述するような鉄道の建築限界の自動確認やホーム離れ・高さの計測に用いようとする、得られた点群からレール位置や軌道中心位置を正確に抽出することが必要となる。そこで、点群からのレール位置抽出アルゴリズムの構築を試みた。

4.2. アルゴリズム

レール位置抽出アルゴリズムの全体の処理フローを図4に示す。本取り組みでは、1.0m間隔でレール位置の抽出を行うこととし、まずMMSで取得した走行軌跡情報を用いてレール長手方向に対して1.0m幅で点群を切り出した。次に、ICPアルゴリズム (Besl and McKay, 1992) を応用し、切り出した点群に対し理想的なレールの頭頂面の形状をマッチングさせることにより、左右レールのゲージコーナー (以下、「GC」とする) の位置を抽出した。その後、軌道中心位置や水準 (左右レール位置の高低差) といった数値を算出し、最終的には、抽出したGC位置と軌道中心位置を順次連結してレールの位置および軌道中心線とした。

4.3. レール位置抽出結果と考察

4.3.1. 定性的評価

様々な線路形状と周囲の環境においてレール位置の抽出を行い、まず目視により全体的な抽出状況を確認した。レール位置の抽出例を図5、図6に示す。確認の結果、線路の線形や周囲の環境にそれほど依存することなく、多くの区間において誤差10mm以内程度で

図4 全体の処理フロー

左レール 右レール

図5 レール位置の抽出例（断面）

図6 レール位置の抽出例（3次元）

レール位置が抽出できていた。一方、レール摩耗が著しい区間においては、レール位置の抽出が適切でない箇所が見受けられた。

4.3.2. 定量的評価

計測試験を行った区間のうち、草津線および山陰線の延長約1kmの区間において、本手法で抽出した左右GC間の実距離を軌間、高低差を水準として、直近の軌道検測車で計測した軌間および水準と比較することによる定量的評価を試みた。その結果を図7、図8、表2に示す。一部で大きな差も見受けられるが、標準偏差は軌間・水準とも2mm程度であり、検証区間全体としては良好な精度でレールを抽出できている。軌

図7 草津線での軌間・水準の比較

図8 山陰線での軌間・水準の比較

表2 軌間・水準の較差

種別	路線	較差	
		標準偏差	最大値
軌間	草津線	1.7mm	5.0mm
	山陰線	2.1mm	20.8mm
水準	草津線	1.6mm	7.4mm
	山陰線	1.9mm	10.1mm

道中心線の位置精度を直接評価したわけではないが、軌間や水準が数mm精度で捉えられていることから、点群空間においてレールに垂直な断面上での相対的な軌道中心線位置は同等の精度を持つと考えられる。

4.3.3. 考察

レール位置の抽出が適切でない箇所に共通していた条件のひとつは、レール頭頂面の点が少ないことであった。その例を図9に示す。これは、レール摩耗が著しい箇所ではレール頭頂面が鏡面状になり、レーザのパルスが鏡面反射して戻って来ず、結果としてレール頭頂面上の点が取得できなかったためと推察される。この問題に対しては、レールの底部も含めたマッチングを行うことや、軌間・水準が急激に変化するような箇所は誤抽出として別処理をする手法等が考えら

図9 適切でないレール位置の抽出例

れる。

5. 鉄道への適用可能性

MMS 搭載レーザスキャナの測距精度は 1 cm 以下程度であり、また 4 章で述べたとおり、MMS 点群から相対的には数 mm 精度でレール位置や軌道中心線を抽出できたことから、MMS は線路設備の検査・確認や維持管理など、鉄道分野で利活用できる場面が多いと考えている。当社では、鉄道の実業務に適用可能な機能を一部開発済みであり、またその他にも MMS の活用方法を検討しているので、それらを紹介する。

5.1. 建築限界の自動確認

鉄道においては、列車運行の安全を確保するために、定められた範囲内に建築物や樹木等の障害物があるてはならない。この範囲を建築限界と言う。例えば、当社の在来線では、図10のように建築限界寸法が定められている。トンネルや橋梁等の構造物は器具等を用いて必要に応じて建築限界の支障有無の確認を行っているほか、日常的には、数日～1週間に1回程度の周期で、係員の徒歩による目視確認や、走行している列車の前頭に乗った係員の目視確認が行われている。

当社では、MMS 点群を用いて建築限界を支障する物体の自動検出機能を開発した。本機能は、4 章の手法で自動抽出した軌道中心位置および水準から算出されるレールの傾きを用い、建築限界の形状枠を 3 次元点群空間に当てはめて枠内の点の有無を調べることににより、限界の支障判定を行う。そのイメージを図11に示す。得られた軌道中心線に沿って本処理を行えば、高精度かつ連続的に建築限界の確認が可能である。

建築限界は、曲線部においてはその曲線半径によ

図10 JR 西日本の在来線における建築限界

図11 建築限界自動確認のイメージ

図12 架線の抽出例

て限界寸法が拡張されるが、その拡張量も、抽出した軌道中心線から算出した曲線半径を用いて計算し、適用している。また鉄道の電化区間では、架線およびその周辺設備が必然的に建築限界内に含まれ、判定においてはそれら架線関連設備を除外する必要がある。本機能では、主成分分析や RANSAC (RANdom SAMple Consensus) 法 (Fischler and Bolles, 1981)、領域拡張法ベースのセグメンテーション等を用いて架線関連設備を抽出し、判定から除外するアルゴリズムを取り入れている。架線関連設備の抽出例を図12に示す。

図13 ホーム離れ・高さ計測のイメージ

5.2. ホーム離れ・高さの自動計測

当社では、ホーム離れ（軌道中心線と駅ホーム端までの距離）と、ホーム高さ（レール面と駅ホーム面までの垂直距離）を、2年に1度、人手により計測している。今回、MMS点群を用いたホーム離れ・高さの自動計測機能を開発した。これにより、線路に人が立ち入ることなく連続的に計測することが可能である。

5.3. 構造物の変状確認

二つの異なる時期に取得された点群の差分を抽出することにより、土工等設備やトンネル等の変状の確認を行うことができる。のり面のはらみ出しや土留擁壁の傾斜の進行、トンネル覆工面形状の経年変化があった場合など、定量的に把握することが可能となる。

5.4. 見通し確認

点群を用いれば、どこから何が見通せるかという確認・分析が可能となる。例えば、列車の運転席から信号・標識が認識できるか、あるいは認識しやすい場所にそれらを建植するにはどこがよいか、といった検討を机上で行うことができる。また、線路内での作業のために作成される見張り管理図の作成や更新といった作業も、現地に行かずに検討することが可能となる。

6. おわりに

鉄道は決まった軌道上を走るため、道路の計測より質の高いMMS計測データが取得できる可能性もあり、鉄道とMMSは相性が良いと考えている。建築限界確認やホーム離れ・高さの計測といった直接的な測定・判定だけでなく、人間の目視では確認が難しいような設備形状の経年変化も把握できれば、MMSは鉄道設備のモニタリング装置として有用なツールとなり得る。今後はレール抽出精度の更なる向上と、土工等設備の変状確認など具体的な鉄道業務へのMMSの適用について、検証およびシステム化を進めていく予定である。

参考文献

- Besl, P. and McKay, N.D., 1992. A method for registration of 3D shapes, IEEE Trans. on PAMI, 14(2), pp.239-256.
- Fischler, M.A. and Bolles, R.C., 1981. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography, Communications of the ACM, 24(6), pp.381-395.